

식물을 이용한 실내공기환경 정화효과에 관한 연구

The Effect of Phytofiltration System on the Improvement of Indoor Air Quality

송정은*
Song, Jeong-Eun

방승기**
Pang, Seung-Ki

김용식***
Kim, Yong-Sik

손장열****
Sohn, Jang-Yeul

Abstract

The objective of this study is to examine the impact of the Phytofiltration system on the improvement of indoor air quality.

Measurement was performed in a full-scale mock up model to examine the purification efficiency of air by plants. Seven species of plants, which were recommended by NASA, were used in measurements. Two species of plants that showed outstanding purifying effects were chosen for further measurements.

The measurements were performed according to the positions and amounts of plants. Thermal environment, the concentration of Toluene and Formaldehyde were monitored.

Ficus Benjamina and Aglaonema brevispathum were excellent in diluting the concentration of contaminants. The effect of diluting concentration became better as the amount of plants increased. The reducing effect was the best when the plants were placed near window.

Keywords : IAQ(Indoor Air Quality), VOCs(Volatile organic compounds), Formaldehyde, Plant

1. 서론

건축의 실내는 실외 환경의 오염으로부터 보호할 수 있는 공간으로 여긴다. 그러나 실내공기는 실내의 건축자재와 가구, 카펫 등 합성제품에 의해 실외공기보다 오염되어 있다. 실내 공기오염을 줄이는 일반적인 방안으로 환기를 위한 공기조절장치를 사용하고 있으며, 그 밖에도 여러가지 방법에 의한 오염물질 제어가 가능하다.

최근에는 건물 내의 기기적 공조장치 대신 또는 보조적 역할로 식물을 이용한 biofiltering system을 설치하고 있으며, 실내오염물질의 저감 방안으로 식물을 이용한 실내환경 개선효과에 관한 관심이 증가되고 있다.

식물에 의한 실내공기환경 개선효과는 미 항공 우주국 NASA에서 1980년부터 식물이 밀폐된 공간에서 공기정화의 능력을 갖고 있다는 사실을 확인하여 현재까지 연구 중에 있다.¹⁾²⁾

본 연구에서는, 실내에 식물을 설치하였을 경우, 실내 오염물질의 저감효과를 확인하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여, 식물에 의한 실내공기 정화효과에 대하여 1차, 2차 실험으로 나누어 실험실에서 실시하였다.

1차 실험에서는 NASA의 실험결과 오염저감효과가 우수하다고 알려진 7가지 식물이 이용되어 식물 종의 효과실험을 실시하였고, 2차 실험에서는 1차 실험 결과 효과가 좋은 식종을 선발하여 식재량과 식재배치에 따른 실험을 실시하였다.

* 한양대학교 건축공학과 석사과정
** 경민대학 실용건축과 교수
*** 인천대학교 건축공학과 교수
**** 한양대학교 건축공학과 교수

1) NASA, The Importance of Plants in Space, 2004.

2) NASA, NASA Research Enhances Benefits of Plant Experiment, 2004.

이 연구는 2005년도 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 연구비지원에 의한 결과의 일부임, 과제번호 : 013-051-039

2. 이론적 고찰

2.1 식물의 공기정화기능

식물을 이용한 실내공기오염물질의 제거에 관한 최근 연구 결과에 따르면, 식물에서 잎의 기공은 증산작용을 하며 이 과정에서 이산화탄소와 실내 공기오염물질을 흡수한다. 식물의 공기를 이동시킬 수 있는 능력은 실내 식물이 실내 환경에서 오염물질을 제거하는데 있어서 중요한 역할을 한다. 실내공기는 대체로 건조하기 때문에 식물의 증산작용이 활발해져 오염된 공기를 뿌리 쪽으로 이동시키는 역할을 하게 된다. 휘발성 유기화합물은 뿌리로 이동하여 식물의 토양에 서식하는 미생물에 의하여 제거된다. 식물은 독성물질로 가득 차 있는 환경을 정화시키는 필수적인 역할을 한다.

2.2 포름알데히드

인공환경조절실 두 실의 포름알데히드 농도변화를 비교하기 위하여 포름알데히드 농도를 측정하였다.

포름알데히드는 DNPH-Cartridge를 이용하여 미니펌프로 공기를 30분간 샘플링을 한 후, Acetonitrile 용액 5ml로 추출하여 HPLC(High performance liquid chromatography)로 분석하였다. 그림 1은 HPLC 분석시스템 구성의 예를 나타낸다.

2.3 휘발성 유기화합물

휘발성 유기화합물(VOCs)의 개별물질 농도를 측정하기 위하여 GC-FID(Gas Chromatography-FID)를 사용하였다. VOCs는 Charcoal tube를 이용하여 미니펌프로 샘플링 하였다. 미니펌프는 400ml의 유량으로 1시간동안 공기를 포집하였다. 샘플링 후, 2ml의 CS₂(Carbon disulfide) 용액에 추출하여 분석하였다. 그림 1은 HPLC 분석시스템 구성의 예를, 그림 2는 GC-FID 분석시스템 구성의 예를 나타낸다.

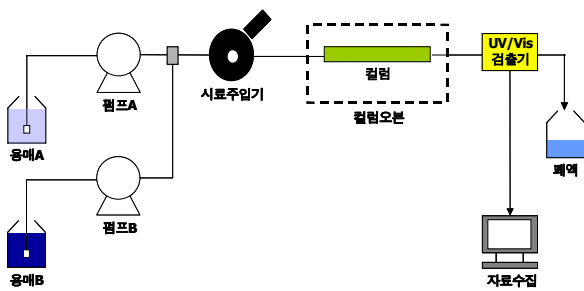


그림 1. HPLC 분석시스템 구성의 예

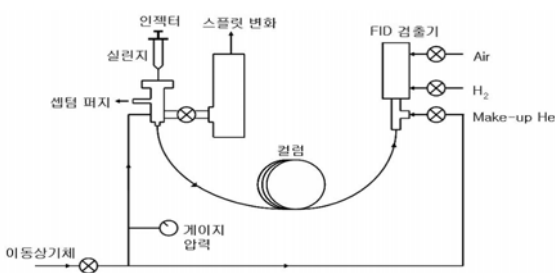


그림 2. GC-FID 분석시스템 구성의 예

3. 실험 방법

3.1 실험실 및 실험 개요

본 연구에서는 인공환경조절실을 제작하여 실내환경 요소를 측정하였으며, 실험실은 가로 3.5m, 세로 3.5m, 높이 2.4m 규격으로 실제 사용되는 7층 건물의 옥상에 정남향으로 위치하였다. 식물에 의한 개선효과에 관한 조사로 1차 실험과 2차 실험으로 나누어 실시하였다.

1차 실험에서는 식물 중에 따른 효과를, 2차 실험에서는 식재량과 식재 배치에 따른 효과를 확인하였다.

표 1은 실험실의 개요 및 측정기기를 나타낸다. 그림 3은 실험실의 평면도를, 그림 4는 식재량과 식재배치 위치를 나타내며, 그림 5는 실험실 전경을 나타낸다.

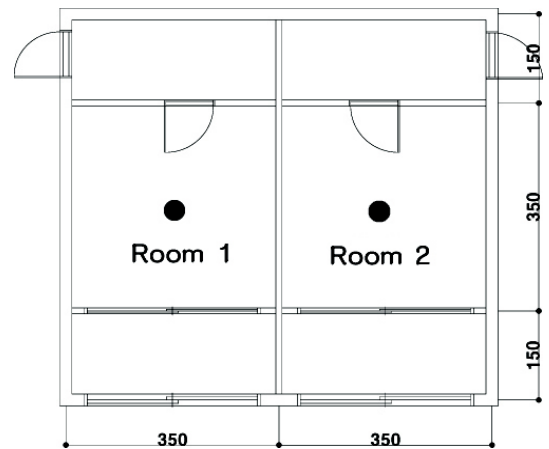


그림 3. 실험실의 평면도 및 측정위치

표 1. 실험실 개요 및 측정기기

구분	I 실	II 실
용도	식물설치	미설치
크기	3500(W)×3500(D)×2450(H)mm	
측정기간	2005.2.12~2005.3.28	
식물종류	벤자민고무나무, 웨프렐라, 아글라오네마, 스킨답서스, 네이비, 칼란코예, 산세베리아	
공기환경	VOCs	GC-FID (Gas Chromatography-FID) Sampler: Charcoal tube Sampling method: Active sampling during 1 hours Desorption Method: Solvent desorption Carbon disulfide, 2ml
	Formaldehyde	HPLC (High Performance Liquid Chromatography) Sampler: DNPH cartridge Sampling method: Active sampling during 30 minutes Desorption Method: Solvent desorption Acetonitrile, 5ml
온열환경	온도 습도	Assmann ventilated psychrometer Data Logger

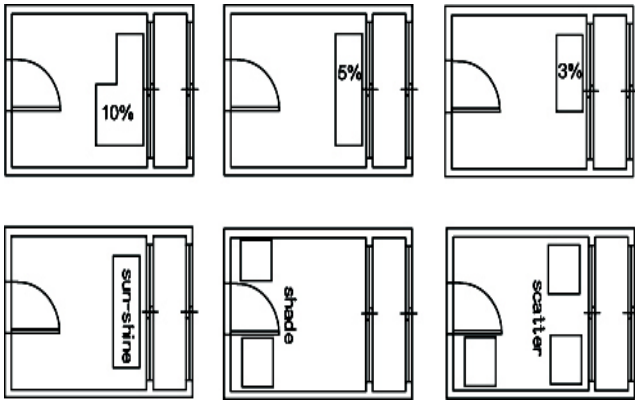


그림 4. 식재량 및 식재배치 위치



그림 5. 실험실의 전경

3.2 공기정화식물 7종실험

1차실험에서는 공기정화식물 중 7종인 벤자민고무나무 (a), 쉘프렐라(b), 아글라오네마(c), 스킨답서스(d), 네이비 (e), 카란코예(f), 산세베리아(g)를 대상으로, 공간부피의 10%로 설치하여 실험하였다. 각 식물마다 약간의 크기차이는 있었으나, 대부분 삼목 번식한 2년생을 사용하였다. 7가지 식물은 한 공간(I 실)에만 설치되었고, 다른 공간(II 실)에는 설치되지 않았다. 측정기간 중 실내온도는 23.5℃로 설정하였다. 이는 향온향습기(난방능력 5500kcal/hr)에 의하여 유지되었다. 두 공간(I 실, II 실)에서 온도, 습도, 환기량, Formaldehyde, Toluene의 농도 변화량을 측정하였다. 한 공간(I 실)에 한 개의 식물이 설치된 조건하에서, 위의 항목은 3일간 연속적으로 측정되었다, 측정이 완료된 후, 실의 모든 개구부를 완전 개방하여 24시간 동안 환기를 실시하였다. 환기 후 다음 식물을 설치하고 3일 연속측정을 하였다. 나머지 식물의 경우에도 동일한 방법으로 측정이 이루어졌다. II 실에서도 동일한 방법으로 측정이 진행되었다.

3.3 공기정화식물 식재량과 배치실험

2차 실험에서는 이전의 실험결과 효과가 좋았던 아글라

오네마를 대상으로 식재량에 따른 실험은 공간부피의 10%식재, 5%식재, 3%식재시의 효과를, 식재배치에 따른 배치는 양지배치, 음지배치, 산재배치로 각각 나누어 측정하였다. 2차 실험도 온도, 습도, 환기량, Formaldehyde, Toluene의 변화량을 측정하였다.

4. 실험 결과

4.1 공기정화식물 7종 실험

본 실험의 결과분석은 식물이 설치된 지 3시간 후 측정된 초기농도와 3일 경과 후 측정된 최종농도와의 차이를 비교하였으며, 농도 저감량을 비율로 나타내어 VOCs 개별 물질의 감소비율을 평가하였다. 그림 6, 그림 7, 그림 8, 그림 9, 그림 10에서 각 식물은 (a)가 벤자민고무나무, (b)가 쉘프렐라, (c)가 아글라오네마, (d)가 스킨답서스, (e)가 네이비, (f)가 칼란코예, (g)가 산세베리아를 나타낸다.

(1) 톨루엔

톨루엔의 농도저감량은 벤자민 고무나무를 설치한 초기에는 78.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 설치 후 3일이 지난 후에는 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 톨루엔의 농도가 73.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 저감되었다. 이는 7종의 식물 중에서 가장 효과가 우수한 것으로 벤자민 고무나무를 설치한 경우에 톨루엔의 농도가 많이 저감되는 것을 알 수 있었다. 산세베리아를 설치한 경우에 34.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도저감량이 나타났으며, 스킨답서스를 식재한 경우에는 50.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 7종의 식물 중에서는 쉘프렐라를 제외한 6종 모두 톨루엔의 저감효과가 나타났으며, 특히 벤자민 고무나무와 산세베리아, 스킨답서스의 저감효과가 우수하게 나타났다. 식물이 미설치된 실에서는 농도저감효과가 나타나지 않았으며, 3일이 지난후의 농도가 초기농도와 비슷하거나, 약간 증가하기도 하였다. 톨루엔의 농도감소비율은 벤자민 고무나무가 93.6%로 농도저감비율로 평가했을 때 효과 가장 우수하게 나타났다. 산세베리아는 54.3%, 아글라오네마가 33.6%로 나타났으며, 농도저감량과 감소비율의 결과는 거의 유사하게 나타났다. 농도저감량과 저감비율의 결과가 약간 다르게 나타난 부분은 초기 농도가 각 식물마다 다른 관계로 전체 농도에 대한 저감량이 다르기 때문으로 사료된다. 그림 5는 톨루엔의 3일간 농도변화를 나타내며, 그림 6은 식재공간인 I 실과 미식재공간인 II 실의 농도저감량을 나타낸다.

(2) 포름알데히드

벤자민 고무나무를 식재한 경우에 457.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 100.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 3일 동안 357 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 포름알데히드가 저감되었다. 포름알데히드의 경우에도 벤자민 고무나무를 식재한 경우에 농도저감효과가 가장 우수하였으며, 그 외로 아글라오네마를 식재한 경우에 232.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 산세베리아의 경우 172.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도저감량을 나타냈다. I 실에 식물을 설치했을 경우에 II 실에서의 농도변화는 초기의 농도보다 3일 후의 농도가 거의 유사하거나, 적게는 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 많게는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 포름알데히드의 농도가 증가하였다. 포름알데히드의 농도는 식물이 설치된 경우 대부분 저감되었으나, 네이비를 설치했을 경우에는 농도저감량이 미비한 것으로 나타났다. 포름알데히드의 농도감소비율은 아글라오네마가 26.9%, 산세베리아가 22.1%, 쉘프렐라가 20.8%로 나타났다. 그림 8과 그림 9는 포름알데히드의 3일간 농도변

화와 농도저감량을, 그림 10은 농도저감비율을 나타낸다.

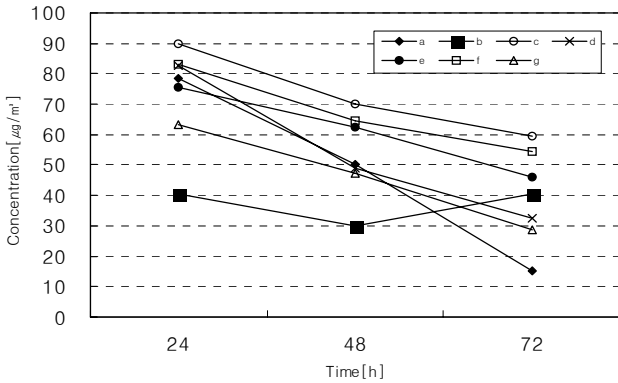


그림 6. 식물 종류에 따른 Toluene의 3일간 농도변화

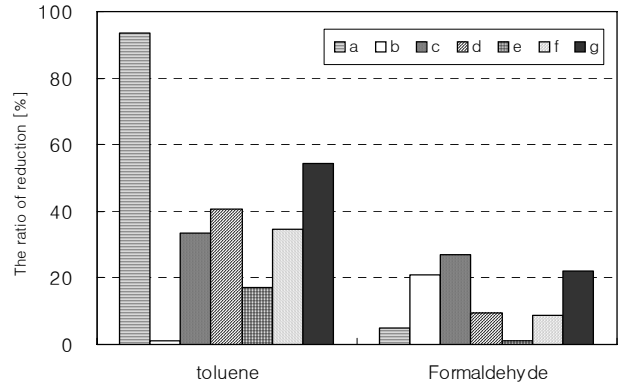


그림 10. 식물 종류에 따른 Toluene과 Formaldehyde의 농도저감 비율[%]

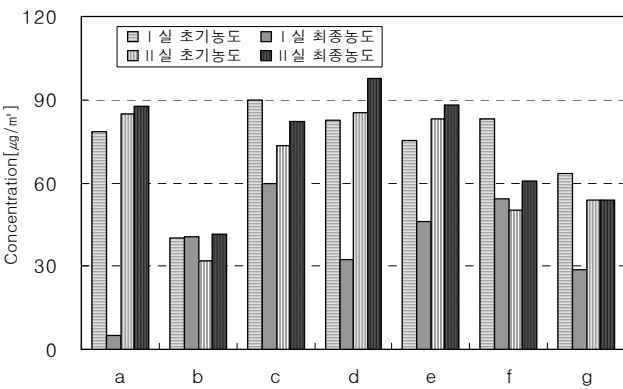


그림 7. Toluene의 농도저감량

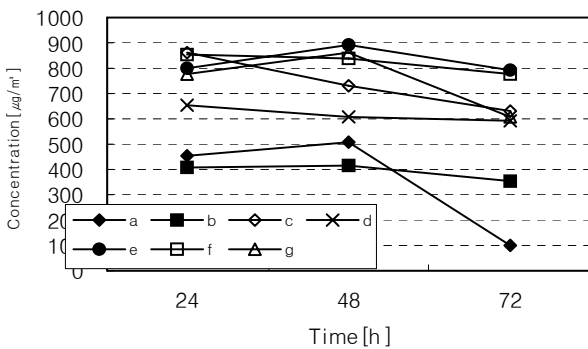


그림 8. 식물 종류에 따른 Formaldehyde의 3일간 농도변화

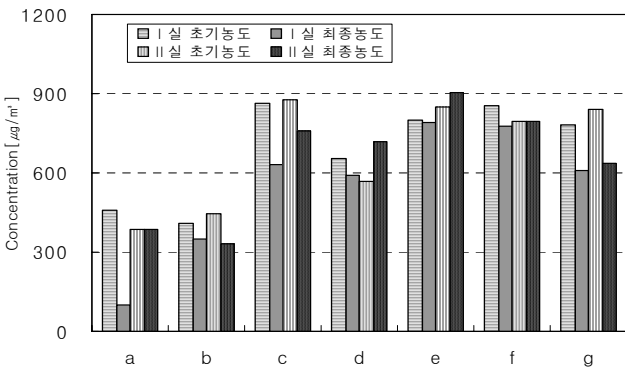


그림 9. Formaldehyde의 농도저감량

4.2 식재량 및 식재비치 변화실험

4.2.1 식재량 변화실험

1차 실험의 실험결과 7종의 식물 중에서 효과가 좋았던 식물 중에서 아글라오네마를 선정하여 식재량에 따른 실험을 실시하였다. 농도저감량은 식물이 설치된 후 3시간 이내의 초기농도와 설치된 지 3일이 지난 후의 농도를 비교하였다. 실험방법은 1차 실험과 같았다. 식재량은 실험실공간의 10%, 5%, 3%의 양으로 배치하였을 때의 농도저감량을 비교하였다.

(1) 톨루엔

식재량에 따른 실험으로는 식재량을 각각 실험실 공간부피의 10%와 5%, 3%로 배치하였을 때 톨루엔의 농도저감효과를 파악하였다. 식물의 위치는 모두 창가에 근접한 양지배치로 하였으며, 아글라오네마를 식재한 화분의 간격을 균일하게 하여 배치하였다. 공간의 10%로 식물을 설치한 경우 농도저감량은 초기농도 $60.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 3일이 지난 후 $14.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 총 저감농도는 $74.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 실험실 공간의 5%로 식재한 경우에는 $61.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도저감량이 나타났으며, 3%로 식재한 경우 $40.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 톨루엔 농도저감이 나타났다.

식재량을 다르게 한 후 실험한 결과, 모든 식재량에서 농도저감효과가 나타났으며, 식물을 설치한 양이 공간의 10%, 5%, 3%의 순서로, 식재량이 많을수록 톨루엔의 농도저감량이 많이 나타났다. 식재공간에서 각 식물의 양을 다르게 하여 실험하였을 때, 미식재 공간에서는 농도저감량이 없었으며, 톨루엔의 농도가 $0.5\sim 3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 약간 증가하기도 하였다. 이는 식물이 설치되지 않은 공간에서 오염물질의 농도가 시간이 지나도 비슷하게 나타나는 경우에, 식재한 공간에서는 톨루엔의 농도저감효과가 있다는 것을 나타낸다. 식재량 변화에 따른 톨루엔의 농도저감비율은 10%로 식재한 경우에 전체의 75.6%가 저감되었고, 5% 식재시 67.2%, 3%식재한 경우에는 59.3%로 많은 저감비율이 나타났다. 각 식재량에 따른 농도저감효과는 모두 나타났다. 식재량이 많은 경우에 더 우수한 것을 알 수 있다. 그림 9와 그림 10은 식재량에 따른 톨루엔의 3일간 농도변화와 농도저감량을 나타낸다.

(2) 포름알데히드

아글라오네마를 공간의 10%식재한 경우 포름알데히드의 농도저감량은 $330.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 5%식재의 경우 $250.7\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3%식재의 경우에는 $55.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 초기농도는 각 식재량에서

812.9~864.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유사하였으나, 농도저감량은 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 차이를 보이고 있다. 그러나 식재량을 다르게 실시한 실험에서 5%와 10% 식재한 경우에 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 농도저감효과를 나타낸 것으로 볼 때, 아글라오네마를 5%이상 식재하였을 때 포름알데히드 저감능력이 효과적임을 알 수 있었다. 포름알데히드의 농도저감비율은 전체공간에 아글라오네마를 10%로 식재한 경우 전체농도의 40.1%가 저감되었으며, 5%의 식재량의 경우 30.8%가 저감되었으며, 3%식재한 경우에는 6.4%가 저감되었다. 식재량 실험에서는 5%이상 식재한 경우에 효과가 우수하게 나타났다. 이는 전체공간의 5%이상 식재하는 경우에 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 그림 11은 식재량에 따른 포름알데히드의 3일간 농도변화를 나타내며, 그림 12는 식재공간과 미식재공간의 포름알데히드 농도저감량을 나타낸다.

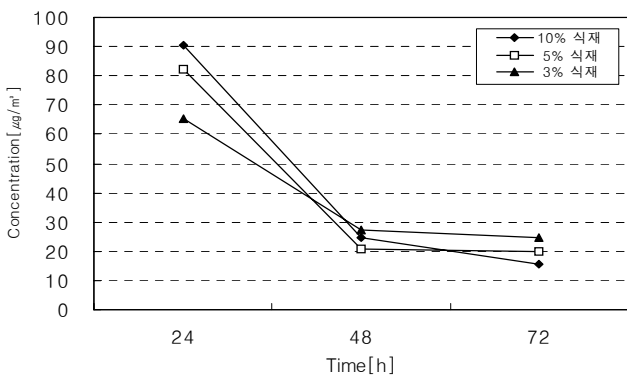


그림 11. 식재량에 따른 Toluene의 3일간 농도변화

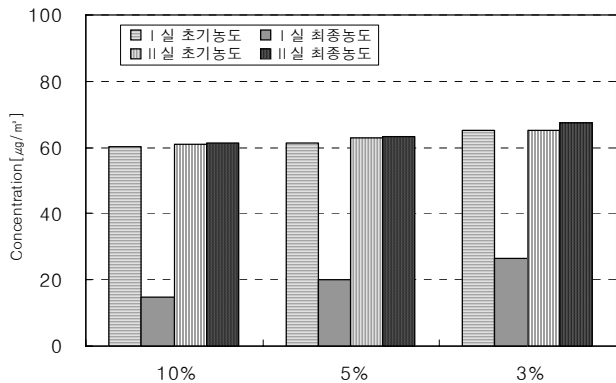


그림 12. 식재량에 따른 Toluene의 농도저감량

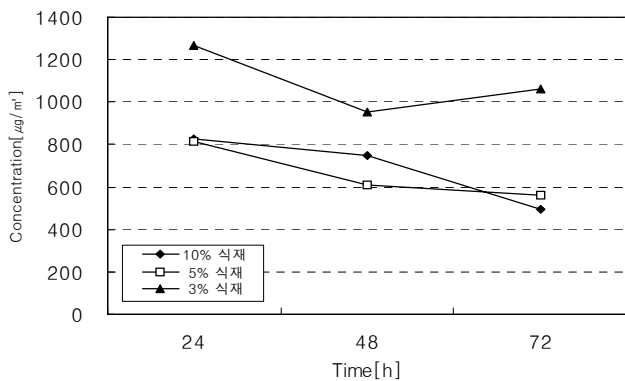


그림 13. 식재량에 따른 Formaldehyde의 3일간 농도변화

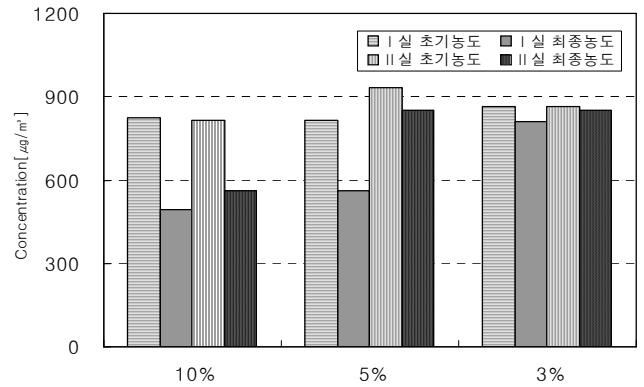


그림 14. 식재량에 따른 Formaldehyde의 농도저감량

4.2.2 식재배치 변화실험

식재배치 위치변화에 따른 실험은 아글라오네마를 대상으로 실시되었다. 식재배치는 같은 양의 식재를 배치방법을 달리하여 실험하였다. 식재배치 변화실험은 창가에 근접하게 배치한 양지 배치, 음지배치 및 양지와 음지에 산재하여 배치한 경우에 톨루엔과 포름알데히드의 농도저감량과 농도저감비율을 비교하여 평가하였다.

(1) 톨루엔

식재배치에 따른 실험은 양지배치의 경우 61.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 산재배치의 경우 62.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 음지배치의 경우 50.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 농도가 저감되었다. 양지배치와 산재배치며, 식재량이 공간의 10%, 5%, 3%의 순서로 식재량이 많을수록 톨루엔의 농도저감량이 많이 나타난 것을 알 수 있다. 식재공간에서 각 식물의 양을 다르게 하여 실험하였을 때, 미식재 공간에서는 농도저감량이 없었으며, 농도가 0.5~3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 약간 증가하기도 하였다. 식물이 설치되지 않을 공간에서 오염물질의 농도가 시간이 지나도 비슷하게 나타나는 경우에, 식재한 공간에서는 톨루엔의 농도저감 효과가 있다는 것을 나타낸다. 톨루엔의 전체 농도저감 비율은 아글라오네마를 창가에 배치한 경우에는 전체의 67.2%가 감소하였고, 산재하여 배치한 경우 63.1%가 감소하였다. 그러나 음지에 배치한 경우에는 42.7%가 감소하여 양지나 산재배치보다 낮은 효과를 나타냈다. 그림 13은 식재량에 따른 톨루엔의 3일간 농도변화를, 그림 14은 농도저감량을 나타낸다.

(2) 포름알데히드

식재배치를 다르게 하여 실험한 결과, 그림 15와 16에서와 같이 초기농도 812.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 식물을 양지에 배치하여 3일이 지난 후에 562.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 농도저감량이 250.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 같은 양의 식재를 양지와 음지에 산재배치한 경우에는 80.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 감소하였으며, 음지에 배치한 경우 11.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 감소되었다. 아글라오네마를 양지에 배치한 경우가 음지나 산재배치보다 3~5배 정도 농도저감효과가 크게 나타났으며, 양지에 배치한 경우에 포름알데히드 농도저감효과가 우수한 것을 알 수 있었다. 식재배치 실험에서 포름알데히드의 농도저감비율에서도 양지에 배치한 경우가 효과가 가장 우수하였다. 양지에 배치한 경우 전체농도의 30.8%가 감소하였고, 산재하여 배치한 경우 8.6%, 음지에 배치한 경우에 1.3%로 나타났다. 그림 17은 식재량과 식재배치 변화에 따른 농도저감비율을 나타낸다.

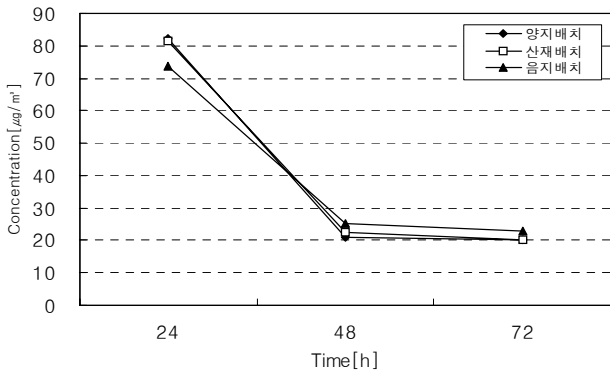


그림 15. 식재배치에 따른 Toluene의 3일간 농도변화

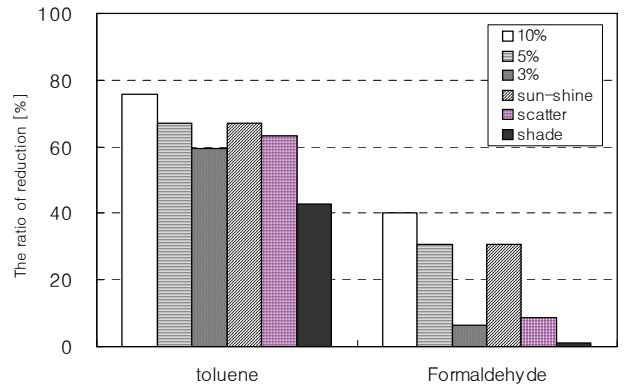


그림 19. 식재량과 배치위치에 따른 Toluene과 Formaldehyde의 농도저감 비율[%]

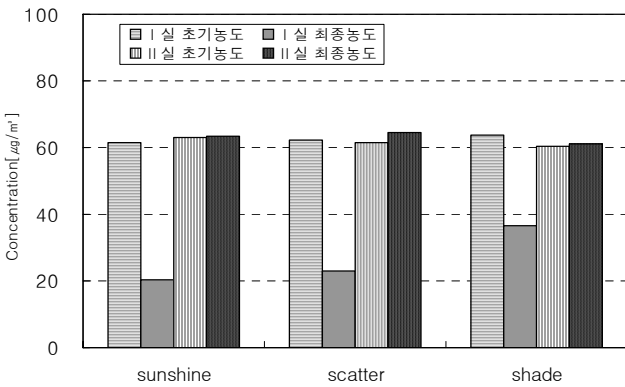


그림 16. 식재배치에 따른 Toluene의 농도저감량

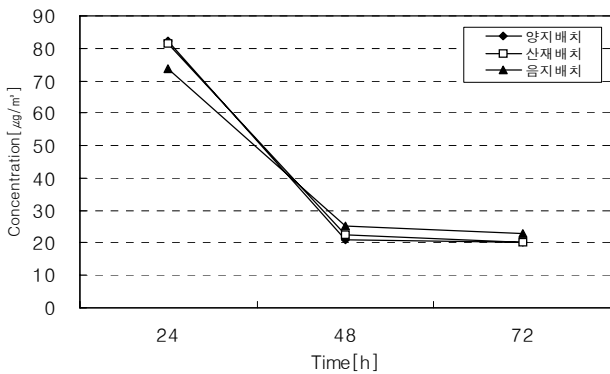


그림 17. 식재배치에 따른 Formaldehyde의 3일간 농도변화

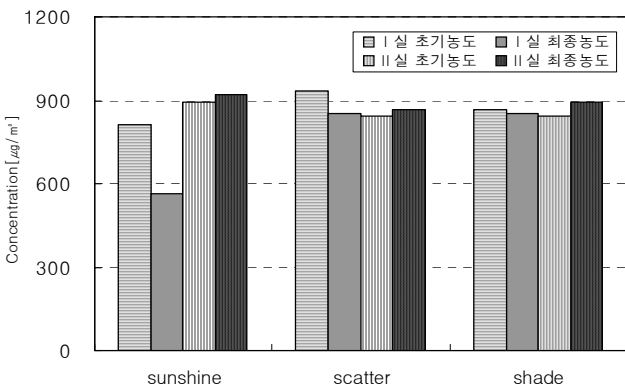


그림 18. 식재배치에 따른 Formaldehyde의 농도저감량

5. 결론

본 연구에는 실내에 식물을 설치한 후에 식물의 종류, 식재량과 식재배치에 따른 실험을 실시하여 실내에서 발생하는 휘발성 유기화합물(VOCs)의 농도저감 효과를 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실내에서 식물 7종의 공기 오염물질 저감효과를 실험한 결과, Toluene의 경우에는 벤자민고무나무의 효과가 가장 크게 나타났다. Formaldehyde의 경우에는 벤자민고무나무, 아글라오네마의 효과가 크게 나타났다. 그 외의 VOCs 개별 물질을 측정된 결과 Toluene을 제외한 나머지 물질들의 농도저감 효과도 있었으나, 그 양은 미미한 것으로 나타났다.

(2) 효과가 좋은 종으로 판단된 아글라오네마를 공간부피의 10%, 5%, 3%로 식재량을 변화시키면서 실험한 결과, 식재량이 많을수록 농도저감량은 크게 나타났다.

특히 10%식재의 경우, 5%와 3%보다 3~5배 이상으로 저감효과가 크게 나타났다.

(3) 식재배치에 따른 실험결과는 양지배치가 가장 효과가 좋았고, 산재배치와 음지배치는 비슷하거나 산재배치가 약간 더 효과가 좋았다.

참고문헌

1. NASA, The Importance of Plants in Space, 2004.
2. NASA, NASA Research Enhances Benefits of Plant Experiment, 2004.
3. 송정은, 한승원, 김용식, 손장열, 식물을 이용한 실내공기환경 개선효과에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회, 제25권 제1호, 2005.
4. S.M.Owen, P.Harley, A.Guenther, C.N.Hewitt, Light dependence of VOC emissions from selected Mediterranean plant species, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 2002.
5. J.J.Cornejo, F.G.Munoz, C.Y.Ma, A.J.Stewart, Studies on the Decontamination of Air by Plants, Ecotoxicology, 1999.
6. B.C.Wolverton, Interior Landscape Plants for Indoor air Pollution Abatement. NASA Report, 1989.
7. 이진희, 실내조경과 건강, 한국실내디자인학회 학술발표대회는 문집, 제 6권 6호, 2004.